



В статье приведены результаты анализа напряжения в питающих электрических сетях для режимов максимальных и минимальных нагрузок. Произведены измерения значений напряжения в питающих сетях, для них построены эмпирические гистограммы и выполнена аппроксимация типовыми аналитическими зависимостями для всего периода измерения, суточного и часового интервалов. Количественно подтвержден случайный характер изменения напряжения в сети.



УДК 621.311

О.Н. Довгалоук,
канд. техн. наук
Харьковская национальная
академия городского
хозяйства

ОЦЕНКА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Напряжение является одним из параметров режима электрической сети, значения которого в нормальном и послеаварийном режимах регламентируются ГОСТ 13109-97. В связи с этим регулирование напряжения в электрических сетях всегда было одной из важных практических задач. В настоящее время основным методом регулирования напряжения в сетях 110 кВ является централизованное, осуществляемое с помощью устройств регулирования под нагрузкой трансформаторов центра питания.

Для оптимального управления режимами работы таких сетей необходимо выполнить анализ данных режимов, одной из составляющих которого является оценка закона распределения исследуемого параметра режима.

Аналізу режимов напряжения в электрических сетях уделяли внимание такие ученые как Мельников Н.А., Фокин Ю.А., Железко Ю.С., Веников В.А., Яндульский А.С. и др. [1-4].

В настоящее время появилась возможность регистрации параметров режимов работы сетей с помощью более точных приборов, а также использовать для их обработки современные и быстродействующие средства вычислительной и компьютерной техники. Это позволяет более продуктивно использовать полученные результаты для корректировки параметров режимов их работы. Как следствие, вопросы оптимального управления приобрели на сегодняшний день особую актуальность.

Целью проведенных исследований является оценка закона распределения напряжения в сети 110 кВ.

Для решения поставленной задачи было произведено более 20 измерений на шинах 110 кВ трансформаторных подстанций, расположенных в г. Харькове и Харьковской области. Длительность непрерывных измерений напряжения составляла от 5 до 7 суток для режимов максимальных и минимальных нагрузок. Измерения производились аттестованным прибором «АНТЭС АК-3Ф» [5].

По результатам проведенных измерений для каждой точки сети значения напряжения были представлены в виде выборки, состоящей из n независимых наблюдений за случайной функцией $U(t)$, вид которых показан на рис. 1.

Для каждой из исследуемых точек сети были построены эмпирические гистограммы с усреднением экспериментальных данных по всему периоду измерений. Для построения группированного ряда вся область измерения случайной величины $U(t)$ была разбита на q интервалов, величина которых h определялась по формуле Стэрджеса и

приведена в табл. 1. Вид полученных эмпирических гистограмм для режима максимальных и минимальных нагрузок в исследуемой сети представлен на рис. 2.

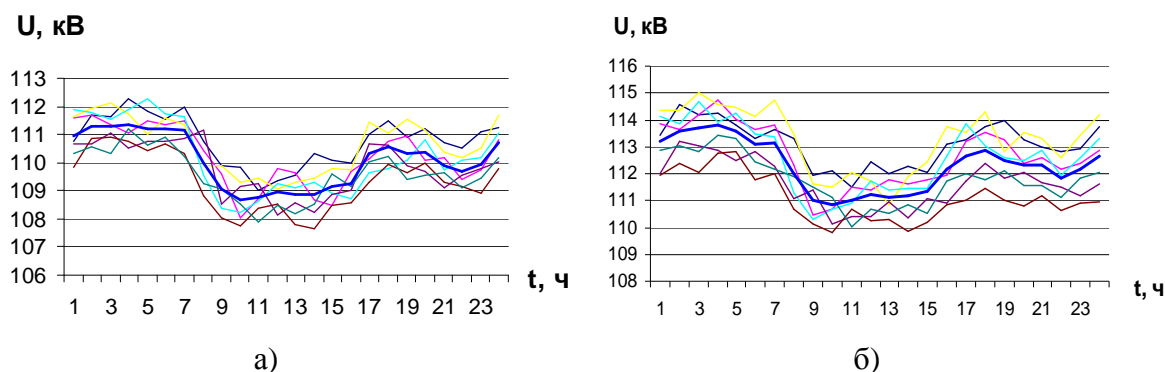


Рис. 1. Значения напряжения в сети 110 кВ: а - в режиме максимальных нагрузок; б - в режиме минимальных нагрузок

Таблица 1 - Длительность интервалов разбиения группированных статистических рядов функции напряжения в сети 110 кВ

Режим нагрузки	U_{\min} , кВ	U_{\max} , кВ	h, В
Зимний максимум нагрузки	107,67	112,29	570
Летний минимум нагрузки	109,8	115,0	640

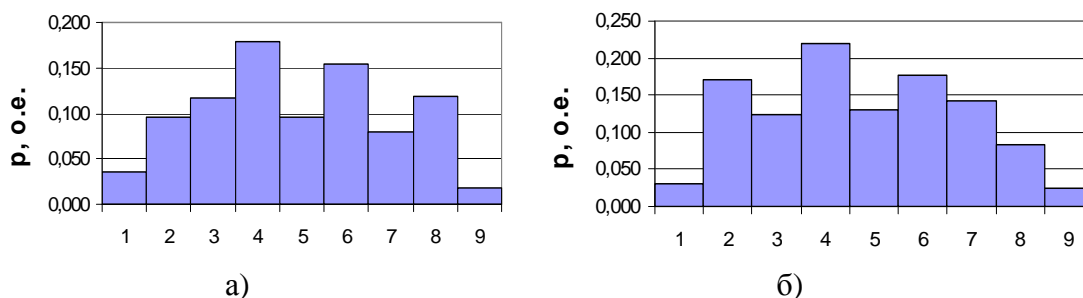


Рис. 2 – Гистограммы функции напряжения в сети 110 кВ:
а - в режиме максимальных нагрузок; б - в режиме минимальных нагрузок

По внешнему виду построенных гистограмм были выбраны аналитические зависимости, которые наиболее точно описывают исследуемые законы распределения: нормальный, равномерный, Эрланга, гамма-распределения, полиномиальный, логистический. По методу наименьших квадратов [6] произведена аппроксимация построенных гистограмм аналитическими зависимостями. На рис. 3 приведены графики экспериментальной и рассматриваемых аналитических зависимостей функций плотности распределения, построенные для одной из исследуемых точек сети 110 кВ в режиме максимальных нагрузок.

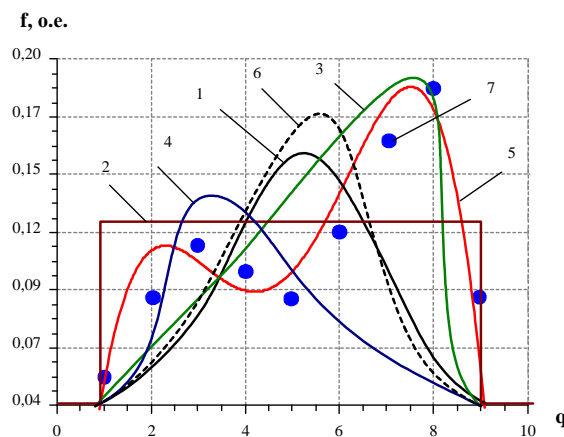


Рис. 3 – Графики зависимостей функции плотности распределения при законах распределения случайной величины: 1 - нормальном; 2 - равномерном; 3 - Эрланга; 4 - гамма-распределении; 5 - полиномиальном; 6 - логистическом; 7 - экспериментальном

Для всех рассматриваемых аналитических функций в соответствии с [6] были найдены значения среднеквадратической ошибки Σ^2 и индекса корреляции I_k :

$$\Sigma^2(U) = \sum_{i=1}^q (U_{\text{эксп}i} - U_{\text{теор}i})^2, \quad (1)$$

$$I_k(U) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^q (U_{\text{эксп}i} - U_{\text{теор}i})^2}{\sum_{i=1}^q (U_{\text{эксп}i} - \bar{U}_{\text{эксп}i})^2}}, \quad (2)$$

где q – количество интервалов разбиения группированного статистического ряда в зависимости от длительности интервала разбиения h и вариационного размаха случайной величины $(U_{\text{max}} - U_{\text{min}})$; $U_{\text{эксп}}$, $U_{\text{теор}}$ – значения функции, полученные экспериментальным и теоретическим путем по соответствующему аналитическому выражению; $\bar{U}_{\text{эксп}i}$ – среднее выборочное функции, полученное по экспериментальным данным.

Проверка гипотезы о предполагаемом законе распределения выполнялась по критерию согласия Пирсона [6]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(U_{\text{эксп}i} - U_{\text{теор}i})^2}{U_{\text{теор}i}}. \quad (3)$$

Гипотеза о законе распределения принималась, если выполнялось условие

$$\chi^2 \leq \chi_{\mu, \lambda}^2, \quad (4)$$

где $\chi_{\mu, \lambda}^2$ – табличное значение [6], определяемое в зависимости от числа степеней свободы μ и вероятности λ того, что величина, распределенная по закону χ^2 , превысит это значение.

Результаты расчета критерия χ^2 приведены в табл. 2. Анализ данных таблицы показал, что условие (4) не выполняется и, следовательно, ни одна из рассматриваемых зависимостей не описывает закон распределения исследуемой случайной величины с требуе-

мой достоверностью. Таким образом, для исследуемой функции напряжения не существует единой плотности вероятностей на рассматриваемом интервале.

Таблица 2 – Результаты расчета критерия Пирсона для сети 110 кВ

Закон распределения случайной величины	Режим максимальных нагрузок						Режим минимальных нагрузок					
	Σ^2	I_k	χ^2	μ	λ	$\chi^2_{\mu,\lambda}$	Σ^2	I_k	χ^2	μ	λ	$\chi^2_{\mu,\lambda}$
Нормальный	3,483	0,809	1,978	6	0,95	1,64	2,767	0,921	2,086	6	0,95	1,64
Равномерный	5,474	0,860	2,106	6	0,95	1,64	6,559	0,838	1,896	6	0,95	1,64
Эрланга	3,734	0,777	2,248	6	0,95	1,64	2,987	0,907	1,898	6	0,95	1,64
Гамма-распределение	3,657	0,787	1,967	6	0,95	1,64	2,943	0,910	2,641	6	0,95	1,64
Полиномиальный	4,029	0,832	0,627	3	0,95	0,352	3,291	0,925	0,957	3	0,95	0,352
Логистический	5,234	0,471	1,783	6	0,95	1,64	6,078	0,518	1,868	6	0,95	1,64

Более детальный анализ режима напряжения в сети 110 кВ требует оценки закона распределения случайной функции напряжения на суточном интервале. Решение данной задачи выполнялось в такой же последовательности, как и предыдущей. Гистограммы исследуемой функции на суточных интервалах приведены на рис. 4. Их анализ показал, что для функции напряжения на суточном интервале также не существует единой плотности вероятностей.

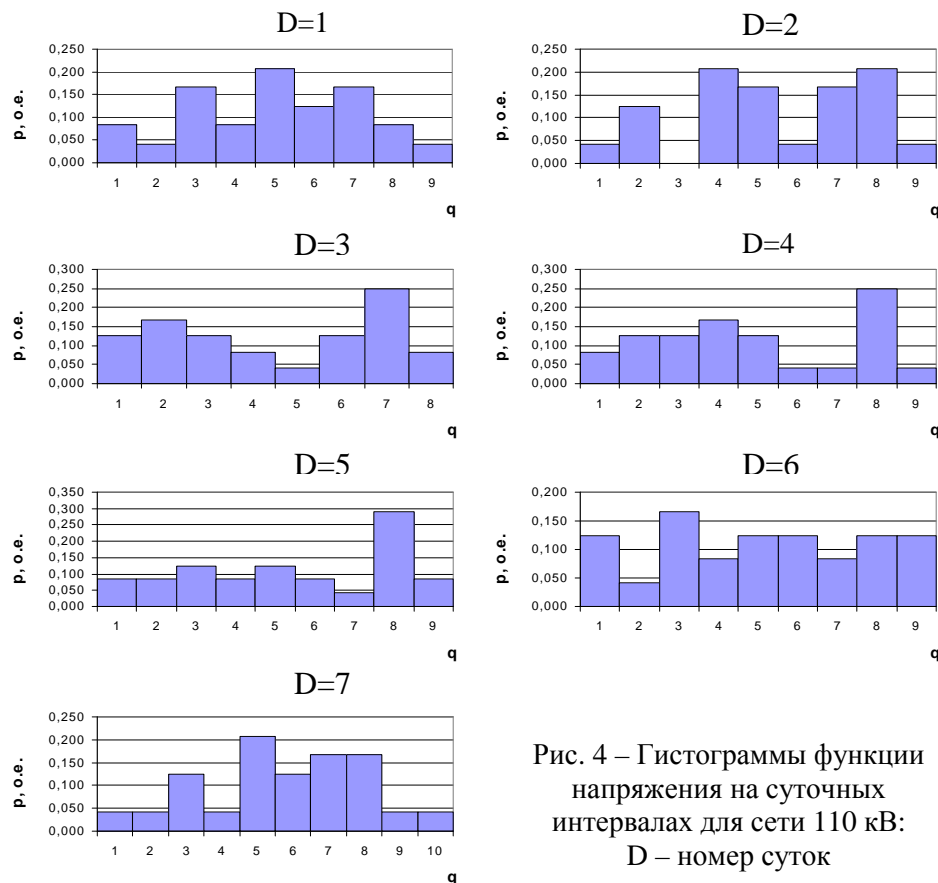


Рис. 4 – Гистограммы функции напряжения на суточных интервалах для сети 110 кВ:
D – номер суток

Это позволяет сделать вывод, что функция напряжения для всех исследуемых точек сети 110 кВ представляет собой случайную последовательность, которая близка к процессам марковского типа.

Для достоверного описания такого процесса может быть использована только последовательность мгновенных плотностей вероятностей, построенных для каждого момента времени отдельно. Для каждого из таких интервалов были построены гистограммы, вид которых показан на рис. 5, и определен закон распределения напряжения для каждого часа суток. Анализ данных гистограмм показал, что они аппроксимируются нормальным законом распределения.

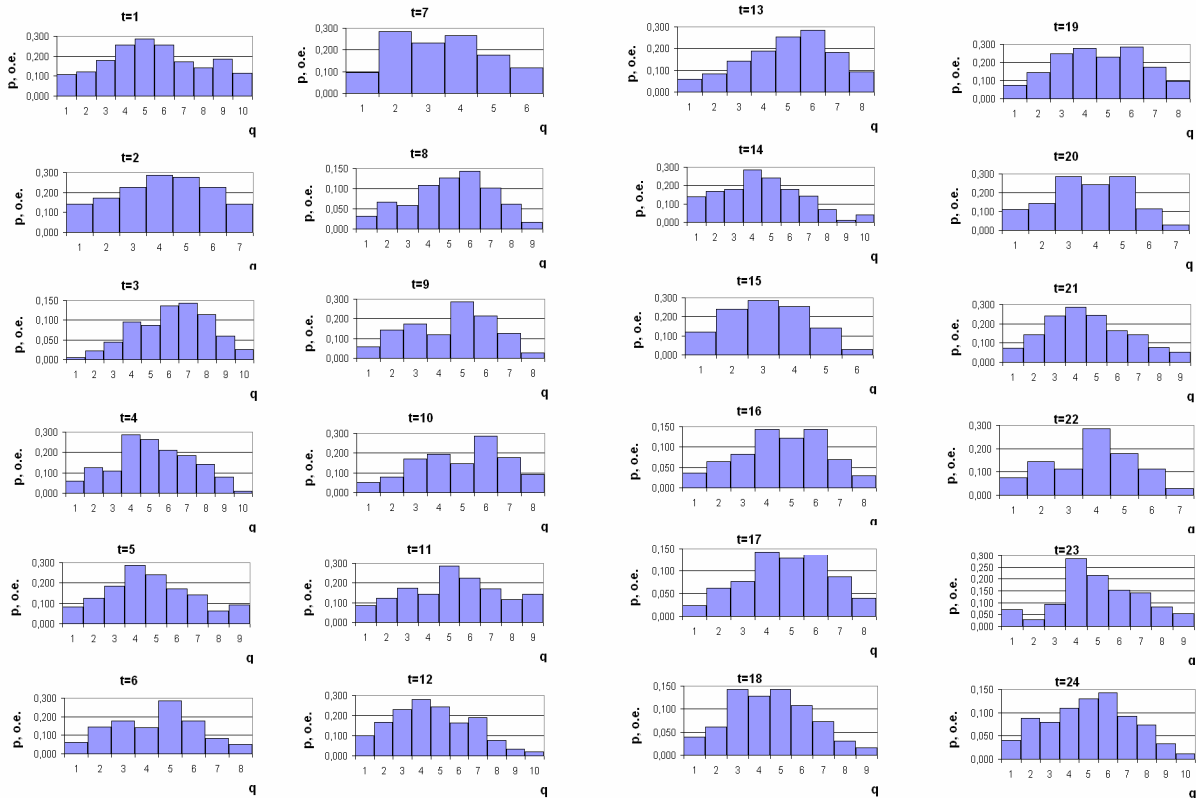


Рис. 5 – Гистограммы функции напряжения по часам суток для сети 110 кВ

Таким образом, вероятностным описанием исследуемого процесса изменения напряжения в сети 110 кВ может служить только последовательность мгновенных плотностей вероятностей, построенных для каждого момента времени.

Выводы:

1. Оценка закона распределения функции напряжения в сети 110 кВ показала, что для исследуемой случайной величины на интервале измерения, а также на суточном интервале не существует единой плотности вероятностей.

2. Для достоверного описания характера изменения напряжения в режимах максимальных и минимальных нагрузок может быть использована только последовательность мгновенных плотностей вероятностей, построенных для каждого момента времени и аппроксимируемых нормальным законом распределения.

Выявленные особенности режимов напряжения в сети 110 кВ позволят в дальнейшем оптимальным образом корректировать закон его регулирования для повышения эффективности эксплуатации сети.

Литература

1. Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в электрических сетях. - М.: Энергия, 1968. - 152 с.
2. Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 104 с.
3. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 216 с.
4. Яндудьский А.С., Головатюк Н.Ф., Хлыстов В.М. Вопросы регулирования напряжения в электрических сетях // Энергетика и электрификация. - 1996. - №4. - С. 36-38.
5. Гриб О.Г., Довгалюк О.Н., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н. Оценка качества электроэнергии в электрических сетях Харьковского региона // Збірник праць V міжнародної науково-технічної конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств". - Маріуполь: ПДТУ - 2005. - с. 124-126.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 2000. - 479 с.

ОЦІНКА ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ФУНКЦІЇ НАПРУГИ У ЖИВИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

О. Н. Довгалюк

У статті наведені результати аналізу напруги у живильних електричних мережах для режимів максимальних і мінімальних навантажень. Зроблено виміри значень напруги у живильних мережах, для них побудовані емпіричні гістограми й виконано апроксимацію типовими аналітичними залежностями для всього періоду виміру, добового й годинного інтервалів. Кількісно підтверджено випадковий характер зміни напруги у мережі.

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF VOLTAGE FUNCTION DISTRIBUTION LAW IN POWER SUPPLY SYSTEMS

O. N. Dovgaluk

Voltage analysis in power supply systems for maximum and minimum loads had been carried out. There have been measured voltage values in power supply systems, empirical histograms are built and approximation is made by typical analytical relations for the whole measurement time interval, daily and hourly intervals. Random character of voltage changing in the supply system is confirmed quantitatively.